

**Artigo a ser publicado na revista Construção Magazine**  
**Edição 101 - 2021**

**Título:** Reforço de estruturas de betão com sistemas FRP: regulamentação mais recente

**Autor 1:** José Sena Cruz - Professor Associado, ISISE/IB-S, Universidade do Minho, [jsena@civil.uminho.pt](mailto:jsena@civil.uminho.pt)

**Autor 2:** Joaquim Barros - Professor Catedrático, ISISE/IB-S, Universidade do Minho, [barros@civil.uminho.pt](mailto:barros@civil.uminho.pt)

**Autor 3:** Luís Correia – Post-Doc, ISISE/IB-S, Universidade do Minho, [lcorreia@civil.uminho.pt](mailto:lcorreia@civil.uminho.pt)

## 1. Introdução

O uso de polímeros reforçados com fibras (FRP – fibre reinforced polymers) no reforço de estruturas existentes de betão armado (BA) tem-se consolidado como alternativa competitiva a materiais tradicionais, nomeadamente aço e BA. Normalmente, estes materiais são colados externamente nas faces (técnica EBR - Externally Bonded Reinforcement) ou inseridos no betão de recobrimento (técnica NSM - Near Surface Mounted) dos elementos a reforçar. Na técnica EBR são normalmente usados laminados (sistemas pré-curados) ou mantas (sistemas curados in-situ) de FRP com fibras de carbono (CFRP). Na técnica NSM recorre-se habitualmente a varões de FRP de secção circular em fibra de vidro (GFRP) ou de secção retangular em CFRP. Qualquer um destes FRP são fixos ao betão por intermédio de adesivos, maioritariamente de origem epoxídica.

## 2. Regulamentação mais recente

Em termos de guias de dimensionamento existentes destacam-se, pela sua fiabilidade e atualidade o *bulletin* 90 [1] da *fib* publicado em 2019, e o ACI 440.2R-17 [2] do *American Concrete Institute* (ACI) publicado em 2017 (ver Figura 1). O *bulletin* 90 [1] foi desenvolvido pelo grupo técnico TG5.1 da *fib*, enquanto o ACI 440.2R-17 [2] foi preparado pelo comité 440 do ACI. Em ambos os guias estão previstas regras de dimensionamento para verificações de Estados Limite Últimos (ULS) e Estados Limite de Utilização (SLS). Pelo facto do *bulletin* 90 [1] ser coordenado pelos desígnios da *fib*, as suas formulações atendem à filosofia de dimensionamento subjacente nos Eurocódigos Estruturais. Na Tabela 1 inclui-se um resumo das possibilidades de dimensionamento de sistemas de reforço com FRPs previstos em ambos os documentos. Ambos disponibilizam regras de dimensionamento para reforço à flexão e esforço transversal, bem como para o reforço sísmico. As formulações estão especialmente calibradas para o reforço com a técnica EBR, mas o dimensionamento de sistemas de reforço segundo a técnica NSM, principalmente à flexão, encontra-se também contemplado. O *bulletin* 90 [1] propõe formulações para verificações de SLS de da largura de fendas, cálculo de flechas e tensão máxima admissível nos materiais constituintes (para esta última o ACI 440.2R-17 [2] também propõe recomendações).

### 2.1 Reforço à flexão

A formulação de dimensionamento à flexão do ACI 440.2R-17 [2] suporta-se em limitar a extensão máxima de tração no FRP a um valor determinado por equações derivadas de bases de dados de resultados experimentais que demonstram uma maior propensão para destacamento do FRP tão mais precoce quanto maior for a rigidez deste e menor for a qualidade do betão do substrato da estrutura a reforçar. No caso da técnica EBR, essa equação tem por base os trabalhos de Teng et al. [3,4], enquanto na técnica NSM o limite a 70% a extensão última do FRP suporta-se no trabalho de Bianco et al. [5]. O *bulletin* 90 [1] também se suporta em limitar a extensão máxima de tração no FRP a determinados limites, no entanto diferentes equações são propostas conforme os diversos modos de rotura que podem ocorrer no reforço à flexão de elementos de BA. O *bulletin* 90 [1] propõe duas formulações de diferente nível de complexidade, sendo a mais sofisticada baseada na decomposição do elemento a reforçar num conjunto de troços de BA limitados por fendas de flexão, e no estabelecimento do equilíbrio de forças nas faces extremas de cada um desses troços, bem como mas leis que governam a transferência de tensões do FRP e das armaduras convencionais

existentes para o betão envolvente entre essas faces. Este modelo permite determinar o campo de tensões no FRP e nas armaduras existentes ao longo do desenvolvimento do elemento reforçado.

## 2.2 Reforço ao esforço transversal

Ambos os guias propõem formulações exclusivamente para a técnica EBR. No ACI 440.2R-17 [2] a resistência ao corte de um elemento de betão armado com certa percentagem de estribos é a adição do contributo do betão, do aço e do FRP, enquanto no *bulletin* 90 [1] a contribuição do betão não é considerada, mas em ambos os guias, a resistência máxima ao corte é limitada à garantida pelo esmagamento do betão da biela de compressão que possa eventualmente formar-se. A formulação do ACI 440.2R-17 [2] permite dimensionar configurações de reforço em 'O' (completo envolvimento da secção da viga), em 'U' (envolvimento da face inferior e laterais da viga) e '||' (aplicação limitada às faces laterais da viga), enquanto o *bulletin* 90 [1] não recomenda esta última configuração de reforço. As formulações de ambos os guias suportam-se em limitar a extensão máxima de tração a um valor limite, o qual é condicionado pela configuração de reforço, rigidez do FRP, resistência do betão, comprimento de transferência de tensões do FRP para o betão e, no caso do *bulletin* 90 [1], ainda pela inclinação da fenda crítica de corte. O *bulletin* 90 [1] propõe ainda recomendações de dimensionamento para sistemas em U com ancoragens na suas extremidades.

## 2.3 Reforço sísmico

Tanto o ACI 440.2R-17 [2] como o *bulletin* 90 [1] apresentam estratégias para a melhoria do comportamento estrutural a ações sísmicas (local e global), através da utilização de materiais compósitos. O capítulo 13 da ACI 440.2R-17 [2], dedicado ao reforço sísmico, apresenta metodologias para o confinamento de elementos de betão armado (pilares e nós de pórtico), para o reforço à flexão e ao esforço transversal, e para o reforço de paredes estruturais. Por sua vez, o *bulletin* 90 [1] apresenta de forma mais minuciosa, métodos para reforço sísmico com materiais compósitos, englobando também o confinamento de elementos de BA, reforço à flexão e ao esforço transversal.

## 2.4 Durabilidade

As questões da durabilidade destes sistemas de reforço são abordadas no ACI 440.2R-17 [2] através do recurso aos fatores que limitam a extensão máxima de tração possível de aplicar no FRP. Os valores destes fatores dependem não somente da exposição a que o FRP ficará submetido em serviço (são propostas três classes de exposição: interior, exterior e ambiente agressivo), como também do tipo de fibra que constitui o FRP (carbono, vidro e aramida). No caso *bulletin* 90 [1] as questões associadas à durabilidade são devidamente discutidas; contudo, no que respeita às regras de dimensionamento, os efeitos de degradação resultantes da durabilidade destes sistemas não são considerados, reduzindo assim o âmbito da sua aplicação destes sistemas.

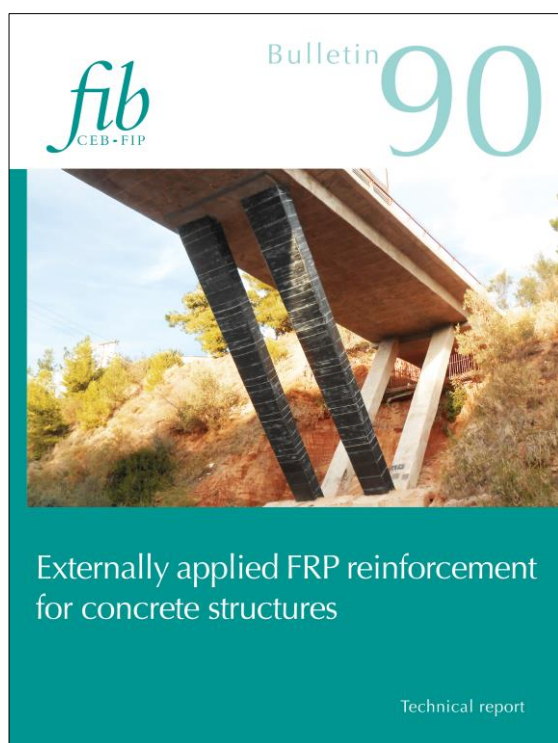
## Referências bibliográficas

- [1] "Externally applied FRP reinforcement for concrete structures". *Bulletin* 90, Federação Internacional do Betão (fib), *fib Task Group 5.1*, 2019
- [2] "Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures" *Technical committee document 440.2R-17 2017*, American Concrete Institute (ACI), Committee 440, 2017.
- [3] Teng, J.G.; Smith, S.T.; Yao, J.; Chen, J.F. "Intermediate crack-induced debonding in RC beams and slabs." *Construction and Building Materials*, vol. 17; 2003, p. 447–62.
- [4] Teng, J.G.; Lu, X. Z.; Ye, L. P.; Jiang, J. J. "Recent research on intermediate crack induced debonding in FRP strengthened beams". *Proceedings of the 4th International Conference on Advanced Composite Materials for Bridges and Structures*, Calgary, AB, Canada, 2004.

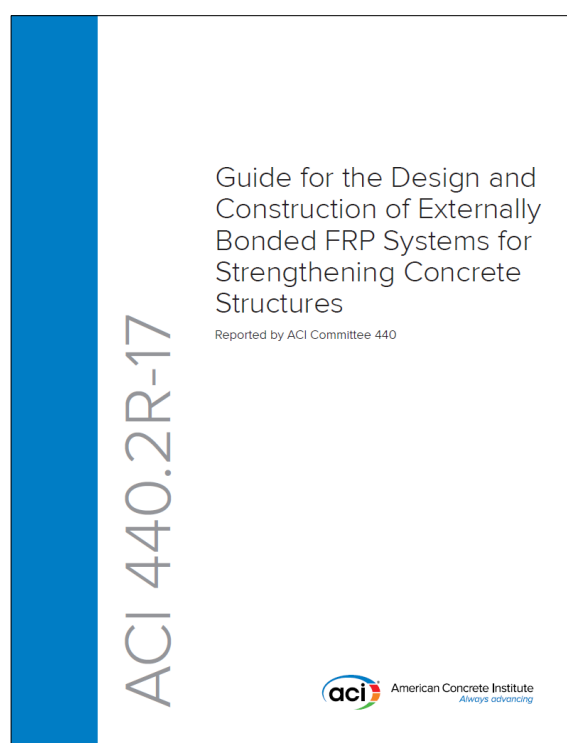
[5] Bianco, V.; Monti, G.; Barros, J. A. O. "Design formula to evaluate the NSM FRP strips shear strength contribution to a RC beam". Composites Part B: Engineering, vol, 46; 2014, p. 960–71.

**Tabela 1:** Principais aspetos associados ao *bulletin 90* e ao ACI 440.2R-17

Possibilidade de reforço	<i>bulletin 90</i>	ACI 440.2R-17
Reforço à flexão – ULS	EBR, NSM	EBR, NSM
Reforço à flexão – SLS		
• Controlo das tensões	✓	✓
• Controlo da fendilhação	✓	✗
• Controlo da deformação	✓	✗
Reforço ao esforço transversal – ULS	EBR	EBR
Reforço de membros sujeitos a flexão composta – ULS	EBR	EBR
Reforço à torção	EBR	✗
Reforço sísmico	EBR	EBR, NSM



(a)



(b)

**Figura 1:** (a) *bulletin 90* da fib; (b) ACI 440.2R-17 do ACI